

TRABAJO DE FIN DE GRADO
GRADO EN CIENCIAS DEL MAR

ANÁLISIS DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA EN ESPAÑA ¿Oportunidad o conflicto?



Alumno: Elena Fincias Anta

Tutores: María Luisa Pérez Cayeiro/ Juan Adolfo Chica Ruiz

Dpto.: Historia, Geografía y Filosofía

Curso 2020/2021

AGRADECIMIENTOS

Quisiera transmitir mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que me han ayudado a lo largo de esta etapa y han colaborado en esta investigación. En primer lugar, a Marisa Pérez, que ha confiado en mi desde el minuto uno, eligiéndome alumna colaboradora de su departamento al comienzo de mi carrera. Gracias por eso y por aconsejarme y apoyarme estos 4 años. También gracias a Adolfo Chica por su intervención en mi TFG y el esfuerzo de mostrarme como tenía que realizar las citas bibliográficas. Quería mostrar mi reconocimiento también a los profesores Juan Miguel Mancera por contagiarme su afán por investigar y descubrir, y a Ignacio Hernández Carrero por hacerme ser más exigente conmigo misma y proporcionarme documentos sobre mi investigación.

En segundo lugar, a mi padre que siempre está ahí para darme la fuerza que a veces me falta y sobre todo hacerme sentir que puedo lograr lo que me proponga. También a mi abuela y a mi madre que han estado a lo largo de toda mi carrera apoyándome en todo momento y animándome a seguir adelante.

Por último, mi más sentido agradecimiento a la Universidad de Cádiz por acogerme dentro de sus aulas y hacerme sentir como en casa. Ha sido un período de aprendizaje tanto a nivel científico como a nivel personal. Pero sobre todo gracias, Cádiz por presentarme a gente que ha marcado un antes y un después en mi vida.

A todos ellos, mil gracias.”

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS	6
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	6
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
4.1 Estudio de la energía eólica marina en europa	8
<i>4.1.1 Estado de la energía eólica marina en Europa</i>	<i>8</i>
<i>4.1.2 Gestión en Europa</i>	<i>13</i>
4.2 Análisis de la gestión de la eólica marina en España.....	14
4.3 Caso de estudio: provincia de Cádiz.....	19
<i>4.3.1 Identificación de los distintos proyectos de parques offshore.....</i>	<i>19</i>
4.3.1.1 Proyecto Mar de Trafalgar	19
4.3.1.2 Proyecto Cruces del Mar	20
<i>4.3.2 Evaluación del desarrollo que tendría dicha actividad en Cádiz.</i>	<i>20</i>
5. CONCLUSIONES	24
6. BIBLIOGRAFÍA	25
ANEXOS	

RESUMEN

La eólica marina es una fuente de energía ilimitada, limpia y renovable que se presenta como una alternativa para conseguir los objetivos de descarbonización y hacer frente a los efectos del cambio climático. El objetivo principal de este trabajo, el cual se ha realizado a través de una exhaustiva búsqueda bibliográfica, es analizar la situación de la energía eólica marina en España, tomando como caso de estudio el Golfo de Cádiz. Entre los resultados más destacables se puede mencionar que, en la escala supranacional europea, destaca el Reino Unido y representa el 45% de la capacidad instalada total en Europa (25 GW lo que corresponde a 5.402 turbinas eólicas). Sin embargo, España no dispone de ningún parque eólico fijo en sus aguas. Uno de los mayores inconvenientes podría ser que cuenta con una estrecha plataforma continental, por lo que la energía eólica flotante se presenta como una posible solución. Por su parte, la costa gaditana tiene un gran potencial eólico. Hasta la fecha se han presentado varios proyectos que no llegaron a fase de construcción, debido a una fuerte oposición social. En general, si se pretende potenciar este sector en España será necesario concienciar a la población, fomentar las energías renovables y revisar el marco jurídico. Se puede concluir por tanto que es necesario un cambio, en las políticas públicas para agilizar el proceso con todas las garantías respecto al impacto ambiental y social.

ABSTRACT

Offshore wind is an unlimited, clean and renewable energy source that is presented as an alternative to achieve the objectives of decarbonisation and tackle the effects of climate change. The main objective of this essay, which has been carried out through an exhaustive literature search, is to analyse the situation of offshore wind energy in Spain, taking the Gulf of Cadiz as a case study. Among the most noteworthy results, it is needed to mention that, on a supranational European scale, the United Kingdom stands out and representing 45% of the total installed capacity in Europe (25 GW, corresponding to 5,402 wind turbines). However, Spain does not have any fixed wind farms in its waters. One of the major drawbacks could be that it has a narrow continental shelf, therefore, floating wind energy might be a possible solution. Additionally, the coast of Cádiz has great wind energy potential. To date, several projects that have not reached the construction phase due to strong social opposition have been presented. In general, if this sector is to be boosted in Spain, it will be necessary to raise public awareness, to promote renewable energies and review the legal framework. Consequently, it can be concluded

that a change in public policies is necessary to speed up the process with all the guarantees regarding environmental and social impact.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático debería ser una cuestión prioritaria y el reto al que se han de enfrentar las políticas públicas de manera urgente. No obstante, el destino del planeta depende de cómo la sociedad, en esta generación, responda a la catástrofe climática (Postigo, 2020). Actualmente existen claros signos de que el clima está cambiando, siendo uno de los desafíos más importantes a los que debe enfrentarse una humanidad globalizada (Fernández, 2013). El 2020 fue el año más cálido en España, en Europa y estuvo al nivel del más cálido a escala global. En España, la temperatura se ha incrementado 1,7 °C desde la época preindustrial y 1,3 °C en los últimos 60 años (AEMET, 2021).

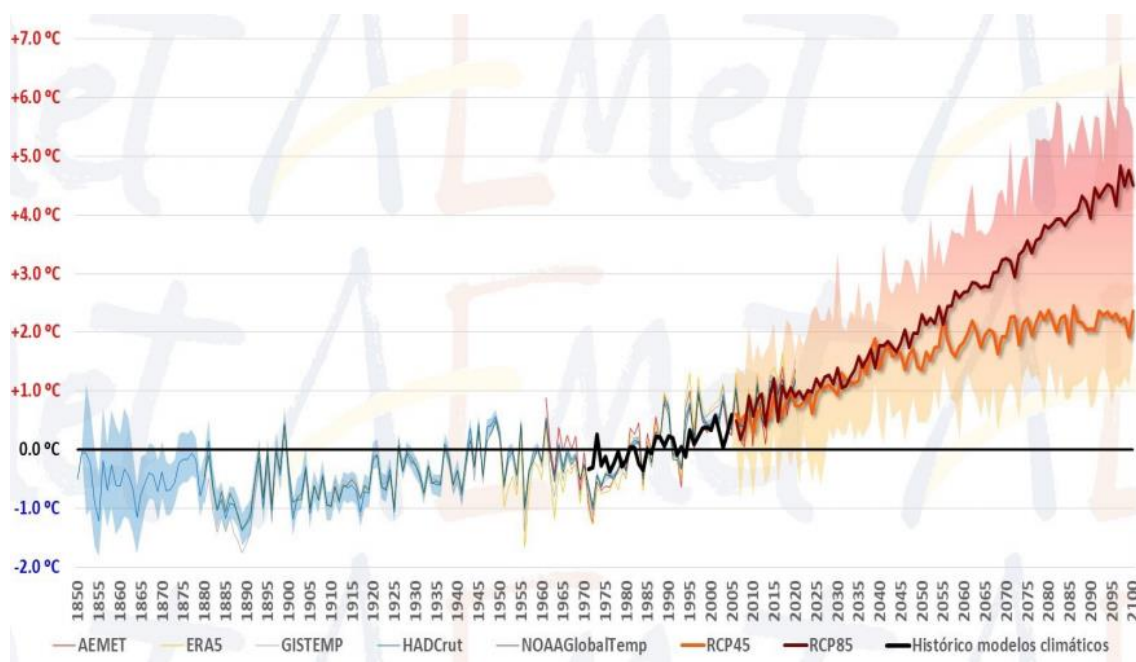


Figura 1. Anomalías de la temperatura media anual en superficie en la España peninsular respecto al periodo de referencia 1971-2000. También se incluyen las proyecciones de las anomalías de la temperatura para las trayectorias de concentración representativas RCP 8.5 (escenario de altas emisiones) y RCP 4.5 (emisiones intermedias).

Fuente: AEMET, 2021

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) fue creado por Naciones Unidas para profundizar en el conocimiento del continuo incremento de la concentración de gases efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre, lo cual está provocando la variación del clima (Lucas Garín, 2017). Tras el primer informe del IPCC redactado en 1990, surgen polémicas sobre la magnitud del fenómeno y sus posibles causas.

En 1992, se celebra la Cumbre de la Tierra ECO 92, en Río de Janeiro (Brasil), sobre desarrollo y medio ambiente (Fernández, 2013). Otra fecha a destacar es en diciembre de 1997 cuando se aprueba el Protocolo de Kyoto para la reducción, en el periodo 2008 a 2012, del 5 al 2% de las emisiones de GEI respecto de la situación en 1990 (Kyoto, 1997). La Convención, ratificada por 186 países (España la ratificó en 1993), tiene como objetivo lograr la estabilización de las concentraciones de estos gases en la atmósfera, inspirándose en los principios de cooperación, equidad, precaución y conocimiento científico (Salvia, 2005).

El Protocolo de Kyoto entró en vigor en 2005, y en 2012 los países decidieron prorrogarlo hasta 2020, redefiniendo una nueva meta: una reducción del 18% de las emisiones con respecto a 1990. En 2015, se aprobó El Acuerdo de París el cual viene a sustituir al Protocolo de Kyoto a partir del 2020. La resolución, que entró en vigor al año siguiente, tiene por objeto reducir de forma sustancial las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y limitar el aumento global de la temperatura en este siglo a 2 °C, al tiempo que busca medios de limitar la subida todavía más, a 1,5 °C (Beck & Mahony, 2017). Hasta la fecha, 195 partes han firmado el Acuerdo y 189 lo han ratificado pero el participante clave, Estados Unidos, retiró su firma, abandonando formalmente el Acuerdo de París (Fajardo del Castillo, 2018). Sin embargo, el nuevo presidente de Estados Unidos Joe Biden, ha firmado una orden ejecutiva para que su país se una nuevamente al Acuerdo de París (Noticias ONU, 2021). Entre los puntos a destacar del Acuerdo, cabe resaltar que ofrece una vía para que las naciones desarrolladas ayuden a las que están en desarrollo en su labor de mitigación del cambio climático y adaptación a este. (Garín, 2019).

El Informe de Síntesis del Quinto Informe de Evaluación del IPCC, publicado en 2014, concluye que la influencia humana en el sistema climático es clara y va en aumento, y que sus impactos se observan en todos los continentes. Si no se le pone freno, el cambio climático hará que aumente la probabilidad de impactos graves, generalizados e

irreversibles alterando las condiciones ambientales naturalmente fluctuantes en los ecosistemas costeros y estuarinos de todo el mundo (Colombano *et al.*, 2021). El IPCC se encuentra ahora en su sexto ciclo de evaluación, en el que está elaborando el Sexto Informe (AR6) que se publicará en 2022. El 9 de agosto de 2021 el IPPC comunicó que, en el informe se pone de manifiesto que las acciones humanas todavía pueden determinar el curso futuro del clima. Tales son las preocupaciones sobre los impactos del cambio climático que muchos gobiernos, a todos los niveles, han establecido metas ambiciosas para reducir las emisiones de estos gases y aumentar la proporción de sus carteras de energía producidas a partir de fuentes de energía renovables como la solar y la eólica (Graabak & Korpås, 2016). Las tres razones principales son: políticas, de seguridad energética y de cambio climático. Los países desarrollados son cada vez más conscientes de la necesidad de emprender una transición importante y rápida en sus sistemas energéticos (Barry & Chapman, 2009).

El agotamiento de las fuentes primarias de energía de origen fósil, las emisiones de GEI y la necesidad de un consumo energético sostenible hacen necesario un cambio de modelo, con el uso preferente de las energías renovables (García, 2019). Este crecimiento continuo de las emisiones antropogénicas de GEI es una de las mayores amenazas para la civilización. A pesar del consenso de que las emisiones de gases deberían eliminarse para 2050, para cumplir con el Acuerdo de París y limitar el aumento de la temperatura global a un nivel muy por debajo de los 2 °C (Jung, 1998), el consumo de combustibles fósiles está creciendo en todos los sectores energéticos (Hausfather & Peters, 2020). Según el IPCC aproximadamente dos tercios de las emisiones mundiales de GEI pueden atribuirse al CO₂ procedente de la combustión de combustibles fósiles y de los procesos industriales. Por lo que una transición rápida y amplia hacia la energía renovable será esencial para lograr los objetivos de reducción de las emisiones establecidos en el Acuerdo según la secretaria ejecutiva de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

El informe de la 11ª Asamblea de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2021), sobre la Perspectiva Mundial de las Energías Renovables, señala la posibilidad de que las emisiones caigan hasta un 70 % menos que el nivel actual durante las próximas tres décadas, e incluso que lleguen a cero emisiones netas para el año 2060.

Para 2030, la mayoría de las capacidades existentes a base de carbón llegarán al final de su vida útil técnica y podrán ser sustituidas por energías renovables modernas y generación a partir de gas. Durante los pasos iniciales de la transición, las turbinas eólicas y la generación hidroeléctrica son económicamente viables, debido a perfiles de generación más estables (Bogdanov *et al.*, 2021)

La energía eólica marina es una energía renovable, la cual no produce emisiones y es una excelente alternativa en términos ambientales a la producción de electricidad convencional basada en combustibles como el petróleo, el carbón o el gas natural (Bilgili *et al.*, 2011). Es una fuente de energía limpia que se obtiene del aprovechamiento de la fuerza del viento que se produce en alta mar. La instalación en este ámbito permite implantar un gran número de turbinas, ya que no existen las limitaciones de espacio y planificación que se encuentran en tierra. Pueden diseñarse para explotar con la mayor eficiencia posible las velocidades del viento generalmente más altas, donde alcanza una velocidad mayor y más constante debido a la inexistencia de barreras (Tong, 1998).

Es considerada por la UNESCO como la energía más sostenible, ya que permite la producción de electricidad y a la vez evita causar impactos ambientales. Es por ello por lo que, a lo largo de los últimos años muchos países han decidido aumentar la inversión en esta tecnología. Con 6,1 GW de nueva capacidad añadida, 2019 fue el mejor año de la historia para la energía eólica marina mundial (GWEC,2020) y se prevé que alcance los 120 GW para 2030 (GWEC, 2018).

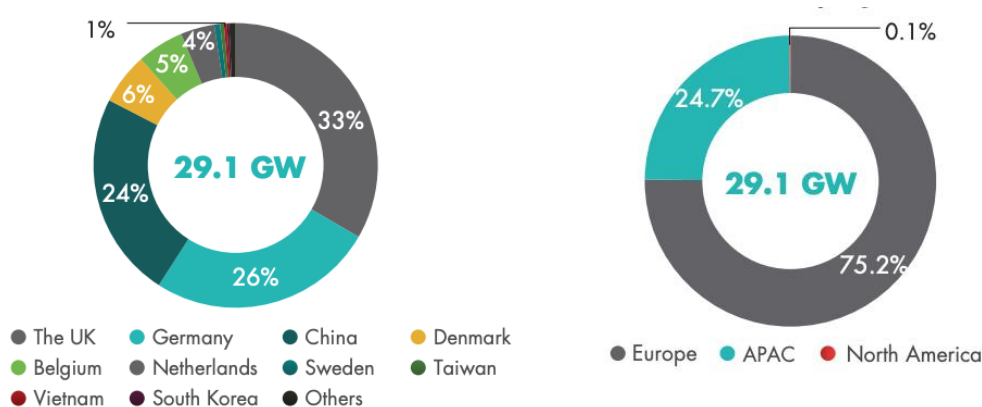


Figura 2. En el gráfico de la izquierda se encuentra la energía eólica marina total instalada por país y el gráfico de la derecha la energía eólica total por región.

Fuente: GWEC, 2021

La Agencia Internacional de Energía (AIE) dictamina que hay suficientes recursos eólicos marinos a nivel mundial para satisfacer la demanda total de electricidad del planeta en la actualidad, 18 veces más. Utilizando la tecnología actual, el Banco Mundial estima alrededor de 71.000 GW de potencial eólico marino fijo y flotante en todo el mundo. En el presente solo existen 35 GW instalados lo que implica que apenas se ha explotado la superficie del potencial de la energía eólica marina (GWEC, 2021).

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es realizar un estudio del estado de la energía eólica marina en España. Para ello se han fijado tres objetivos específicos:

- Estudiar el estado y la evolución de la energía eólica marina en Europa.
- Analizar la gestión de la eólica marina en España y el desarrollo de proyectos piloto.
- Hacer un diagnóstico de la situación en la provincia de Cádiz.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se ha hecho uso de diversas fuentes de información y se ha dividido en tres etapas. A continuación, se procede a la descripción de cada una de ellas:

Etapas I: Planificación y búsqueda de la información. Las fuentes de información empleadas en el transcurso de esta investigación han sido de diferente naturaleza y se han clasificado en distintos grupos atendiendo a su materia, características y particularidades:

- a) Bibliográficas: este tipo corresponde a publicaciones, manuales, informes o documentos editados, generalmente por autores u organismos internacionales. También se han considerado publicaciones periódicas en revistas especializadas en la disciplina.
- b) Legislación: en este caso nos referimos a todas aquellas normas y leyes vigentes que deban aplicarse en el ámbito de estudio para una correcta gestión. Además, se ha podido identificar la diferente normativa respecto al cambio climático y a la ordenación del espacio marítimo en Europa y España.
- c) Páginas web de organismos internacionales o instituciones públicas: este sector corresponde a las grandes instituciones como son: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), Organización de las Naciones Unidas

para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), Agencia Internacional de Energía (AIE), Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA), Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

- d) Documentos técnicos: este grupo vinculado a los datos de carácter técnico por las distintas empresas de energía eólica marina como son WindEuropa, Global Offshore Wind (GWEC) y The Wind Energy, que muestran los datos estadísticos.

Al tratarse de un trabajo bibliográfico los documentos pertinentes utilizados se han obtenido de las siguientes bases de datos: Google Scholar, Web of Science y Scopus. Para facilitar la búsqueda de los diferentes documentos se han utilizado palabras clave: Offshore wind farm, energía renovable, turbinas en alta mar, oportunidades de la energía eólica marina, reducción GEI. Además, se han empleado criterios de exclusión acotando la búsqueda a proyectos realizados en Europa, en los que no se centren únicamente en la parte ingenieril ni en la en el coste de la energía.

Etapas II: Selección de la zona de estudio. Para la realización de esta tarea se ha empleado el Visor de Información Geográfica Marina del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Con la información obtenida de esta fuente se ha procedido a elaborar la cartografía pertinente de la zona de estudio teniendo en cuenta distintos factores: recursos naturales, espacios protegidos, usos y actividades.

Etapas III: Diagnóstico del caso de Cádiz. Se ha utilizado la técnica de análisis DAFO. Tras identificar los factores que se deben tener en cuenta a la hora de poner en marcha un proyecto de tales características, estos se muestran de forma sintetizada a través de una matriz DAFO. En dicha representación se puede identificar: Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades, referentes a la instalación de un parque eólico. No obstante, en esta síntesis se distinguen las relaciones entre un análisis interno de los aspectos negativos y positivos de la iniciativa (debilidades y amenazas), juntos un análisis externo, es decir con las particularidades que pueden venir de fuera tanto positivas como negativas (fortalezas y oportunidades).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estudio de la energía eólica marina en Europa

4.1.1 Estado de la energía eólica marina en Europa

La energía eólica lleva años implantada en Europa siendo una de las mayores fuentes de energía renovable (Fula & Vilorio, 2015). Tras la aprobación del Protocolo de Kyoto en 1997, una serie de países industrializados y la entonces Comunidad Europea se comprometieron a limitar y reducir las emisiones de GEI, dando lugar a un gran impulso de este tipo de energía renovable (Higgins & Foley, 2014). En 1990, la empresa 'WorldWind' construyó e instaló la primera turbina eólica marina ubicada en Nordersund, a 250 m de la costa, en una profundidad de 7 m frente al norte de Suecia con una potencia nominal de 220 kW (Esteban *et al.*, 2011). Una primera fase transcurre entre 1991 y 1998, en la que se desarrollaron proyectos experimentales de potencia reducida (450 a 600 KW) en los cuales se fueron probando diferentes modelos de aerogeneradores y distintos tipos de cimentaciones (Bilgili, Yasar & Simsek, 2011). En este periodo destaca la construcción del primer parque eólico marino (PEM) de la historia localizado en Dinamarca y denominado Vindeby (Barthelmie *et al.*, 1996). Posteriormente, en una segunda fase, se introdujeron los generadores “multimegavatios”. El primer proyecto de estas características fue el conocido como “Utgrunden”, localizado en Suecia y está en funcionamiento desde el 2000 (Kühn *et al.*, 2005). En la última década del siglo XX, se instalaron en Europa 80 megavatios (MW), los parques eólicos funcionaron con éxito y han demostrado que la energía eólica marina es técnica, económica y ambientalmente viable (Henderson *et al.*, 2003).

Entre los países con mayor desarrollo en este sector se debe mencionar: el Reino Unido, el cual representa el 45% de los aerogeneradores marinos instalados y en funcionamiento en Europa (Ren *et al.*, 2021; Higgins & Foley, 2013), Alemania, Bélgica, Dinamarca y los Países Bajos, los cuales a finales de 2018 hacían que Europa registrara una capacidad eólica marina total instalada de 18,4 GW (WindEurope, 2018). El Reino Unido, además, cuenta con los aerogeneradores más potentes hasta el momento, formando el mayor parque eólico marino del mundo, *Walney 3 extension*, de 657 MW, que genera electricidad para más de medio millón de hogares (Díaz & Soares, 2020).

En 2019, Europa conectó 502 nuevas turbinas eólicas marinas a la red en 10 proyectos, implicando una nueva capacidad adicional de 3.627 MW (WindEurope, 2020). Once países europeos contribuyeron a la capacidad instalada hasta 2019, donde Alemania y el

Reino Unido registran la mayor capacidad a finales de 2019. Este último tiene la capacidad instalada total de 9945 MW seguido de Alemania con 7445 MW (Ren *et al.*, 2021).

En el artículo de Soares-Ramos *et al.* (2020) se realiza una estimación del número de parques que habrá en Europa en los próximos años, para 2020, 2025 y 2030. Estas se calcularon a partir del número y la potencia promedio de OWF en el período comprendido entre 2008 y 2019 mediante regresión lineal. Para las estimaciones se tuvo en cuenta un escenario neutral, que considera que las inversiones en OWF se mantendrán iguales en comparación con el escenario actual.

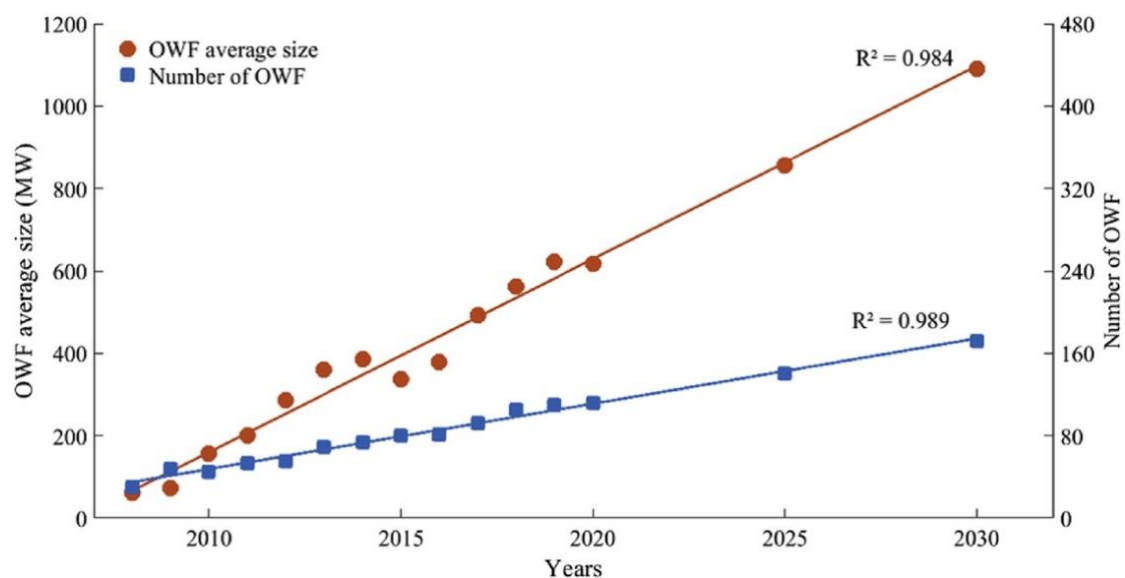


Figura 3. Potencia media y número de OWF en Europa.

Fuente: Soares-Ramos *et.al*, 2020

Se puede comprobar una clara tendencia creciente del número de parques en los próximos diez años. Sin duda la predilección por la energía eólica marina queda demostrada en una gran cantidad de artículos y estadísticas realizadas. La Asociación Europea de Energía Eólica muestra los datos de 2019, donde se observa un evidente aumento en la última década de la capacidad de las turbinas en alta mar (WindEurope, 2020)

Tabla 1. Distribución de los parques eólicos marinos en Europa en el año 2019.

COUNTRY	NO. OF WIND FARMS CONNECTED	CUMULATIVE CAPACITY (MW)	NO. OF TURBINES CONNECTED	NET CAPACITY CONNECTED IN 2018	NO. OF TURBINES CONNECTED IN 2018
TOTAL	105	18,499	4,543	2,649	409
United Kingdom	39	8,183	1,975	1,312	222
Germany	25	6,380	1,305	969	136
Denmark	14	1,329	514	61	42
Belgium	7	1,186	274	309	8
Netherlands	6	1,118	365	0	1
Sweden	4	192	79	-10	-7
Finland	3	71	19	0	0
Ireland	1	25	7	0	0
Spain	2	10	2	5	1
France	2	2	2	2	2
Norway	1	2	1	0	0

Fuente: WindEurope, 2020

En 2019, el Ocean Energy Forum, apoyado por la Comisión Europea, reunió a desarrolladores, expertos y autoridades para identificar acciones prioritarias para el desarrollo del sector de la energía oceánica en Europa. La UE está comprometida con el desarrollo de la energía eólica marina a largo plazo, por ello es la región con mayor capacidad de energía eólica flotante, aproximadamente el 77% del total global (Carreno-Madinabeitia *et al.*, 2021).

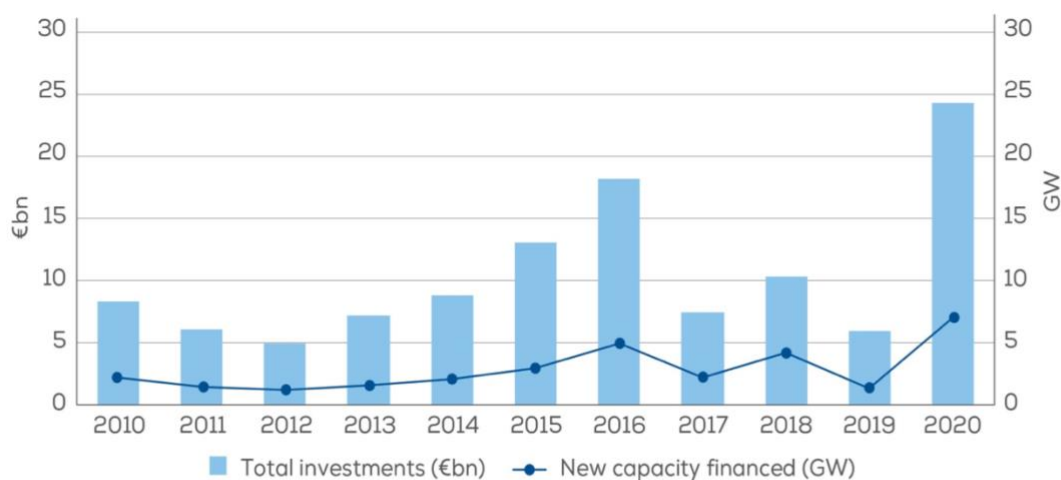
En el año 2020, comenzaron a implementarse aerogeneradores de casi 9 MW de capacidad, presentando las siguientes características: una profundidad media de 27,1m y se encuentran a una distancia media de 33 km de la costa (WindEurope, 2019). Para expandir el mercado a áreas más profundas y desafiantes, han surgido diferentes soluciones para cimentaciones. Para aguas poco profundas, la solución monopile es la más asequible, que representa el 81% de las turbinas instaladas en Europa (WindEurope, 2018). La tecnología que soporta los OWF flotantes de aguas profundas está todavía en su fase preliminar, con pocos prototipos de turbinas y sistemas de amarre actualmente desplegados. Por tanto, los efectos potenciales de estas tecnologías en el medio marino son especulativos (Farr *et al.*, 2021).

Por consiguiente, la energía eólica marina en el siglo XXI ha alcanzado su auge en Europa, siendo una de las mayores fuentes de energía renovable utilizadas hasta el momento (Wang *et al.*, 2018). De ser el 1% de las instalaciones eólicas mundiales por capacidad en 2009, la energía eólica marina ha crecido a más de 10% en 2019 (GWEC, 2020). Los datos que proporciona *WindEurope* en su informe en 2021, muestran que Europa agregó 2.9 GW de capacidad en alta mar durante 2020, lo que implica la instalación de 356 nuevas turbinas. Actualmente Europa tiene una capacidad total de 25 GW lo que corresponde a 5.402 turbinas eólicas conectadas a la red en 12 países.

Esta tendencia se ve favorecida por el apoyo que reciben las energías renovables de las políticas regulatorias, incentivos fiscales y financiación pública, que aumentan su competitividad (KPMG, 2015). Pero el factor principal en el desarrollo de OWF incluye su beneficio económico. Una economía viable para el proyecto se determina por el costo de electricidad por unidad (kilovatio hora), el costo de operación y mantenimiento y el costo de capital (Snyder & Kaiser, 2009).

El costo de la electricidad en el parque eólico está influenciado por: la depreciación económica, el costo de operación y mantenimiento, los impuestos pagados a las autoridades locales y federales y los componentes de almacenamiento de energía (Perveen, Kishor & Mohanty, 2014). *La asociación de la industria eólica europea* señala que, en el año 2018, el sector incrementó su inversión un 37% con respecto a 2017, pero incrementó la potencia instalada un 91%, lo que pone de manifiesto cómo se han reducido los costes. Entre 2000 y 2015 un aumento en parques *offshore* ha implicado que los costes de capital hayan comenzado a disminuir (Vieira *et al.*, 2019). El costo privado de la energía eólica marina es más bajo que el de la mayoría de las otras nuevas tecnologías de energía renovable, aunque es más costoso que la terrestre y la mayoría de las tecnologías de generación convencionales (Levitt *et al.*, 2011). Entre 2015 y 2019, el precio pagado por la energía de los parques eólicos marinos en el norte de Europa se redujo en un $11,9 \pm 1,6\%$ por año. Las ofertas recibidas en 2019 se traducen en un precio medio de $51 \text{ €} \pm 3 \text{ MWh}^{-1}$ y diseños de subastas sustancialmente diferentes han recibido ofertas comparativamente bajas. El nivel de subsidio que implican los resultados de la subasta depende de los precios futuros de la energía. Sin embargo, los proyectos en Alemania y los Países Bajos ya están exentos de subsidios, y parece probable que en 2019 el Reino Unido haya subastado el primer parque con subsidio negativo del mundo (Jansen *et al.*, 2020).

En 2020, las inversiones en nuevos activos alcanzaron un récord de 26.300 millones de euros y se financiaron 7,1 GW de capacidad adicional (WindEurope,2021)



	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Total investments (€bn)	8.4	6.1	5	7.2	8.8	13.1	18.2	7.5	10.3	6	24.2
New capacity financed (GW)	2.2	1.5	1.3	1.6	2.1	3	5	2.3	4.2	1.4	7.1

Figura 4. Seguimiento de la inversión total en euros de parques eólicos marinos en Europa desde 2010 hasta 2020 y de la nueva capacidad financiada en GW. Fuente: WindEurope

Atendiendo a todos los datos se puede decir que el Reino Unido ocupa la posición de liderazgo en el desarrollo de energía eólica marina, cuya capacidad instalada total es de 7,3 GW seguido de Alemania 5,3 GW, Dinamarca 1,2 GW, Holanda 1,1 GW, Bélgica 0,8 GW, Suecia 0,2 GW, Finlandia 0,08 GW e Irlanda 0,03 GW (Díaz & Soares, 2020). El gobierno del Reino Unido ha fijado el objetivo de alcanzar los 40 GW para 2030, lo que implica casi cuadruplicar la capacidad marina en el transcurso de esta década. También estableció recientemente un objetivo de al menos 1 GW para 2030 para los parques eólicos flotantes (GWEC,2021). Por último, se debe hacer referencia al denominado Pacto Verde Europeo. Consiste en un compromiso para hacer sostenible la economía de la UE y reducir las emisiones de CO₂ en territorio europeo en un 55% para el 2030. Para su desarrollo se convierten los desafíos climáticos y ambientales en oportunidades (Sanahuja, 2021). La UE ha definido una cuota global del 32,5% para las fuentes de energía renovables para 2030 (Comisión Europea, 2018).

4.1.2 Gestión en Europa

La instalación de parques eólicos está sujeta a las restricciones establecidas por el derecho internacional, el derecho europeo y el marco legal interno de cada estado miembro de la UE (Castro *et al.*, 2019). Por lo tanto, un sistema de gobernanza robusto es fundamental para el desarrollo de nuevas tecnologías, ya que la volatilidad de las políticas puede obstaculizar el interés de los inversores y promover el cambio de atención entre varias tecnologías (Vieira *et al.*, 2019). Los países líderes en el desarrollo de proyectos eólicos marinos han implementado diferentes mecanismos, como la adopción de un sistema One-Stop-Shop (por ejemplo, en Dinamarca y Escocia). En el cual, un único organismo es responsable de gestionar todo el proceso (DeCastro *et al.*, 2019). De manera similar, se han adoptado otros mecanismos para promover el desarrollo de OWF en Europa, como: exenciones de impuestos en el Reino Unido, conexiones gratuitas a la red eléctrica en Alemania, incentivos financieros para investigar, probar y desarrollar proyectos experimentales.

Tabla 2. Legislación clave relacionada con el desarrollo de parques eólicos marinos en Europa (convenios internacionales y regionales, directivas de la UE y legislación nacional)

Región	Planificación, concesión de licencias y protección del medio ambiente	Promoción
La Unión Europea	Directiva de ordenación del espacio marino 2014/89/UE Directiva de hábitats 92/43/CEE Directiva sobre aves 2009/147/CE Directiva marco sobre la estrategia marina 2008/56/CE Directiva de evaluación ambiental estratégica 2001/42/CE Directiva de Evaluación del Impacto Ambiental 2014/52/UE	Directiva 2009/28/CEE sobre la promoción de uso de energía procedente de fuentes renovables
Alemania	Ley de la energía eólica marina (WindSeeG) (2017)	Ley de fuentes de energía renovable (EEG)(2017) Ley de la energía eólica marina (WindSeeG) (2017)
Dinamarca	Ley de promoción de energías Renovables (VE-Lov) (2009)	Ley de promoción de energías renovables (VE-Lov) (2009).
Países Bajos	Ley de energía eólica marina (Wet Wind op Zee) (2015)	Decreto SDE+ (Besluit stimulerend duurzame energieproductie) (2007).
Reino Unido	La ley de planificación (2008) La ley de acceso marino y costero (2009) La ley de electricidad (1989) La ley de energía (2004) La ley marina Escocia (2010)	La ley de energía de 2013: la reforma del mercado eléctrico (2014)

Fuente: Castro, 2019

4.2 Análisis de la gestión de la eólica marina en España

La energía eólica marina en España está regulada por el Real Decreto (RD) 1028/2007 (modificado parcialmente por el RD 1485/2012 y el RD 1074/2015), que establece el procedimiento administrativo para la tramitación de las solicitudes de autorización de instalaciones de generación eléctrica en el Mar Territorial a través de 2 procedimientos: uno general aplicable a la instalación de un OWF con una capacidad instalada superior a 50 MW (regulado en el título I) y uno simplificado, aplicable a las instalaciones de energía eólica de menor capacidad instalada u otras tecnologías marinas renovables (regulado en el título II).

En el artículo 4.2 del Real Decreto 661/2007, se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, la cual corresponde a la Administración General del Estado, a través de la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, la tramitación de las solicitudes de autorización de instalaciones de generación eólicas en el mar territorial, sin perjuicio de las competencias atribuidas a otros órganos de la Administración.

Por otro lado, la actual Ley 7/2021 tiene por objeto facilitar la descarbonización de la economía española y su transición a un modelo circular que garantice el uso racional de los recursos, así como la adaptación al cambio climático y la implantación de un modelo de desarrollo sostenible que genere empleo decente y contribuya a la reducción de las desigualdades. A través del Plan Nacional de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC) se observan distintas medidas que fomentan el desarrollo de proyectos relacionados con las tecnologías renovables asociadas a la “Energía Azul”, es decir a la eólica marina y las energías del mar.

La actual elaboración de los “Planes de Ordenación del Espacio Marino” (POEM) se regula a través del Real Decreto 363/2017 marco para la ordenación del espacio marítimo. En aplicación de lo dispuesto en el artículo 4.2 de la Ley 41/2010 de protección del medio marino, el Gobierno podrá aprobar directrices comunes a todas las estrategias marinas con el fin de garantizar la coherencia de sus objetivos, en aspectos tales como la ordenación de las actividades que se llevan a cabo o puedan afectar al medio marino. Para aumentar el número de GW de energía eólica marina la cooperación continúa siendo la gran herramienta con la que cuenta el derecho ambiental, y que se sigue consolidando como el instrumento que utilizan los Estados para afrontar problemáticas globales que afectan a cada uno de ellos dentro de los límites de su territorio (Lucas, 2019)

España, en cumplimiento de la Directiva Marco de Ordenación del Espacio Marino Europeo (2014), considerará los aprovechamientos energéticos como objetivos de dicha ordenación, entre otros, y su uso futuro como herramienta de referencia espacial que pueda identificar las ubicaciones más idóneas para la instalación de parques eólicos marinos. La ordenación del espacio marítimo (OEM) contribuye a la gestión eficaz de las actividades marítimas y al aprovechamiento sostenible de los recursos costeros y marinos, asegurando que se mantenga el buen estado ambiental del medio marino, y creando un marco que permita una toma de decisiones coherente, transparente, sostenible y basada en el mejor conocimiento disponible (Ministerio para la Transición ecológica, 2019). Las políticas marinas, la ordenación del espacio marítimo y la gobernanza global del mar son de gran importancia para seleccionar el lugar más adecuado para instalar una granja de energía marina (Castro-Santos *et al.*, 2020).

Es importante destacar que la planificación implica realizar una zonificación del espacio marítimo con las ubicaciones permitidas de los parques eólicos y obtención de los permisos ambientales u otros necesarios. El IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) realizó un estudio técnico para la elaboración de un atlas eólico de España en 2009, desde esa fecha no se ha realizado ningún estudio reciente sobre las características de las zonas donde sería factible la construcción de un parque. El Ministerio de Agricultura, Medio Rural y Medioambiente (MARM) y el Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETUR) aprobaron la Evaluación Ambiental Estratégica de la Costa Española. Su objetivo es determinar las áreas de Dominio Público Marítimo Terrestre que, desde el punto de vista medioambiental, contaban con condiciones favorables para instalar parques eólicos marinos. Esta evaluación proporciona un mecanismo preventivo para la protección del medioambiente frente a la construcción de los parques off-shore en entornos marinos y sirve como inicio del proceso de autorización de OWF. El estudio divide el litoral español en setenta y cuatro zonas eólicas marinas y se clasifican en (Castro-Santos *et al.*, 2020):

1. Zonas aptas: zonas más adecuadas para el establecimiento de parques eólicos marinos porque los efectos medioambientales son pequeños en comparación con sus ventajas.
2. Zonas de exclusión: áreas que deben excluirse del proceso debido a su significativo potencial.
3. Zonas adecuadas con limitaciones ambientales: áreas en las que los efectos o conflictos detectados deben analizarse en detalle durante el procedimiento de evaluación ambiental de cada proyecto.

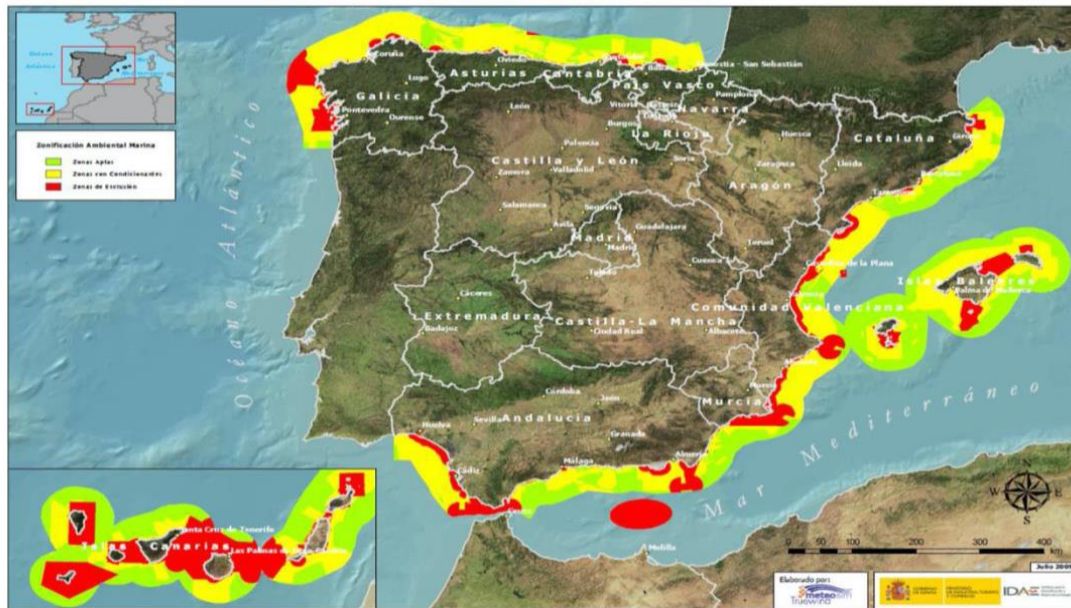


Figura 5. Zonificación ambiental para parques eólicos marinos en España. Fuente: Gobierno de España, 2009

Sin embargo, el Clúster Marítimo Español (2011) señaló diversos condicionantes que han afectado a la implantación de la energía eólica marina en España:

- No cuenta con una plataforma continental extensa que le permita desarrollar proyectos a profundidades bajas, esto es, por debajo de 30-40 metros.
- Falta el apoyo social necesario para instalar parques eólicos marinos cerca de la costa, ya que puede afectar al paisaje y al turismo.
- No se ha apoyado la creación de parques eólicos marinos experimentales que permitieran el desarrollo de prototipos.
- Existe un excedente de energía en España como consecuencia de la crisis económica y la bajada del consumo por parte de las industrias.

A pesar de que la industria española lidera el desarrollo tecnológico y de innovación de los aerogeneradores *offshore* (aerogeneradores en el mar) a día de hoy solo existe un aerogenerador instalado en Gran Canaria. La eólica marina en España, en 2016, tuvo un pequeño impulso con el proyecto diseñado en las Islas Canarias. Un aerogenerador de cimentación fija denominado ELISA construido como parte del proyecto ELICAN. Incorpora una turbina Siemens Gamesa de 5 MW. Se instaló en 2018 y se localiza frente a las costas de la isla de Gran Canaria. Es un prototipo de aerogenerador marino, de torre telescópica, y con una potencia de 5 MW, fue fondeado en el banco de ensayos de la Plataforma Oceánica de Canarias a 1,3 millas náuticas de la costa de Jinámar, al noreste de la isla de Gran Canaria (Martínez, 2020).

La tecnología flotante alcanzará un gran desarrollo en esta década, triplicando el potencial técnico de la energía eólica marina en todo el mundo. Uno de los mercados clave que se menciona es España (GWEC, 2021). El aumento de diez veces en la energía eólica marina durante la última década se ha debido principalmente a dos factores: en primer lugar, la disminución de su coste nivelado de energía (LCOE) de 180 a menos de $40 \frac{\text{€}}{\text{Mwh}}$ en este período, debido a la optimización de toda la cadena de valor; en segundo lugar, el desarrollo de OWF a gran escala más lejos de la costa. Para mantenerse al día con los objetivos de 2050, se necesita una mayor reducción del LCOE (Kazmi, 2021).

La eólica marina se ha desarrollado hasta ahora en plataformas poco profundas con tecnología de cimentación. La empresa pública BiMEP, dependiente del Gobierno Vasco a través del Ente Vasco de la Energía (EVE) con un 75% y participada en un 25% por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico a través del IDAE, ha firmado un acuerdo con la empresa de ingeniería SAITEC para desarrollar un proyecto piloto consistente en la instalación de una plataforma flotante con un aerogenerador marino de 2 MW. “El desarrollo de esta tecnología supone un impulso a las energías renovables marinas, claves de la recuperación verde para alcanzar la neutralidad climática” (MTERD,2020).

Otro ejemplo que tiene en España este tipo de energía es el parque *Tramuntana*, de 1.000 MW, presentado en la costa de Cataluña por Bluefloat Energy y Sener. El proyecto requiere la instalación de aerogeneradores de entre 12 y 15 MW cada uno, con una potencia total instalada de aproximadamente 1.000 MW y una producción anual estimada de aproximadamente 4.000 GWh. Consiste en un parque de una capacidad máxima de 975 GW, compuestos por 65 turbinas de 15 MW dispuestos en circuitos de 5 turbinas cada uno.

El desarrollo del proyecto se plantea preliminarmente a través de dos fases consecutivas: Una comercial, con una capacidad instalada de 450MW, que contempla la instalación de 30 aerogeneradores de 15 MW con una producción anual estimada de aproximadamente 1.700 GWh. Una segunda fase mediante el incremento de capacidad en 525 MW adicionales (hasta un total de aproximadamente 975 MW), mediante 35 turbinas adicionales.

El área de ocupación total sería de aproximadamente 166 km², la más pequeñas de las alternativas. Contempla el espacio necesario para las 65 turbinas sobre sus cimentaciones flotantes, considerando unas distancias de separación estimadas de 2.000 m entre hileras y 1.100 m entre aerogeneradores de una misma hilera. Sin embargo, el área afectada por cada unidad de generación (cada conjunto de turbina, plataforma flotante y sistema de anclaje) es de aproximadamente 78,5 ha, equivalente a un círculo de 500 m de radio, lo que en total supone una ocupación efectiva del orden del 32,1% del área total del emplazamiento de localización seleccionado (Roca, 2021)

Un nuevo estudio realizado por EIT InnoEnergy pone de manifiesto que España y Portugal tienen ventajas competitivas únicas y un enorme potencial para que la región se convierta en un centro líder mundial en energía eólica marina flotante. El estudio señala que el desarrollo de esta industria en la Península Ibérica durante las próximas dos décadas supondría un impacto socioeconómico considerable. Entre los factores que pueden ralentizar el crecimiento en este sector (Enevoldsen & Jacobson, 2021):

- Las limitadas ubicaciones restantes de alta velocidad del viento cerca de los centros de carga
- Las limitaciones de transmisión
- La competencia entre los parques eólicos y otros usos de la tierra y el agua
- La oposición social
- Tasas de fallo y degradación considerablemente más altas en comparación con sus homólogos en tierra.

La Asociación Empresarial Eólica (AEE) en su Anuario Eólico 2020 muestra que España es el quinto país del mundo por potencia eólica instalada, tras China, Estados Unidos, Alemania e India. Por lo tanto, la pregunta es por qué genera tanto rechazo la energía eólica marina. Vázquez et al. (2015) analizaron la planificación y normativa que afectaba a proyectos en España en energías renovables marinas (comparándolas con el modelo utilizado en el Reino Unido) y concluyeron que era necesario incrementar la financiación pública y agilizar el proceso de consentimiento. Por lo que una posible solución sería la introducción en la legislación española de una ventanilla única con un único organismo responsable de la emisión de todas las autorizaciones, lo que podría evitar posibles retrasos en la tramitación de las distintas autorizaciones provocados por la mala comunicación entre los diferentes organismos, simplificando el procedimiento y facilitando el intercambio de datos entre administraciones, y entre ellos y los promotores (Salvador *et al.*, 2018).

4.3 Caso de estudio: provincia de Cádiz

4.3.1 Identificación de los distintos proyectos de parques offshore

4.3.1.1 Proyecto Mar de Trafalgar

La primera propuesta para la construcción de una instalación en alta mar se ubica frente al Cabo de Trafalgar, en la costa de las localidades turísticas de Conil de la Frontera y Barbate, y se planteó en el año 2000 (Anexo I). En 2005, ya eran cuatro las empresas que solicitaban el permiso. Cuando las compañías empezaron a proponer la construcción de un parque eólico marino, ni los planes energéticos españoles, ni los regionales, ni ninguna legislación hacían referencia específica este tipo de instalaciones.

La propuesta consistía en un total de 500 aerogeneradores, ubicados en una extensión marina de más de 20km² (Marta *et al.*, 2005). Los principales grupos ecologistas, así como el Partido Verde de Andalucía, mostraron su apoyo. Sin embargo, en 2003 las partes interesadas que se oponían al proyecto formaron un grupo, que incluía a los ayuntamientos de los municipios afectados de Conil, Véjer y Barbate, los sindicatos profesionales de Conil y Barbate, así como cuatro sindicatos locales de pescadores (de Tarifa, Zahara de los Atunes, Conil y Barbate), los cuatro partidos políticos representados en los ayuntamientos, los sindicatos y el grupo ecologista local AGADEN (Asociación Gaditana en Defensa de la Naturaleza) (Todt *et al.*, 2011).

El proyecto tendría gran importancia a nivel europeo en cuanto a generación de energía renovable en el mar, ya que, de forma paralela, se desarrollaría la acuicultura en el mar abierto y la regeneración de los caladeros artesanales de pesca (Bejarano, 2006). Se elaboró un foro participativo: El Foro de Energía Eólica Off-Shore y Desarrollo Sostenible para facilitar la información y la gestión de conflictos mediante la participación de una amplia variedad de partes interesadas. Este logró unir a todos los sectores interesados en un debate constructivo, pero no tuvo autoridad para tomar decisiones. El Gobierno Central español tras consultar con la Junta de Andalucía, concluyó que este tipo de proyecto no era viable en el momento y decidió rechazar los permisos. Las razones principales con las que justificó su decisión fueron la escasa legislación relevante, la falta de evaluaciones de impacto detalladas y la existencia de oposición local (Marta *et al.*, 2005).

4.3.1.2 Proyecto Cruces del Mar

El Grupo Magtel es una compañía que presentó un proyecto de eólica offshore a Industria en 2009, participaría como promotora para su instalación. La localización sería frente las costas de Chipiona (Cádiz) (Anexo II) y se denominó “*Las cruces del mar*” presentando las siguientes características: 400 MW de potencia, 130 aerogeneradores, 4.600 hectáreas de extensión, y una inversión de 1.400 millones de euros lo que resultaría en una disminución de 786.000T de CO₂ (Magtel, 2009). La empresa andaluza Grupo Magtel, el Ayuntamiento de Chipiona y la Universidad de Cádiz constituyeron una sociedad mixta para desarrollar el proyecto de construcción, el cual no finalizó. Se creó una plataforma ciudadana que también se opuso.

4.3.2 Evaluación del desarrollo que tendría dicha actividad en Cádiz

Los factores ambientales y físicos restringen en gran medida el desarrollo de los parques eólicos espacialmente (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2016). Se debe atender a múltiples factores como son: la morfología del suelo (en el caso de que vayan anclados al fondo) y sobre todo a su batimetría, a la velocidad del viento en la zona, tipo de aerogenerador, impacto sobre la fauna y la flora y costes que generará el proyecto, ente otros. Además, de los distintos permisos que se requieren para su posterior instalación (Tsai *et al.*, 2016). Colmenar-Santos *et al.* (2016) analizaron el procedimiento de consentimiento seguido en España y concluyeron que, junto a las trabas ambientales, técnico-económicas y sociales, también existen barreras administrativas y posibles retrasos en la obtención de las autorizaciones necesarias. También defendieron la normativa y medidas encaminadas a incentivar la inversión en OWF en aguas marítimas españolas.

Para poder identificar con detalle los factores que afectarían a la construcción de un parque eólico marino en la costa de Cádiz, se ha seleccionado la zona en la que varias empresas han mostrado interés. En primer lugar, los condicionantes biológicos (*Figura 6*) y en segundo, los condicionantes socio-económicos (*Figura 7*) que limitan las coordenadas de los aerogeneradores. En el artículo 9 del RD 1028/2007, se hace referencia a que existe una necesidad a través del documento de caracterización, donde se deben recopilar todos los informes emitidos por las instituciones afectadas en relación con las previsibles afecciones que la instalación de un potencial parque eólico marino podría tener sobre el entorno que le rodea. La caracterización del área eólica marina se tiene que realizar por la Dirección General de Política Energética y Minas y es un requisito previo al acuerdo de iniciación del procedimiento de concurrencia.

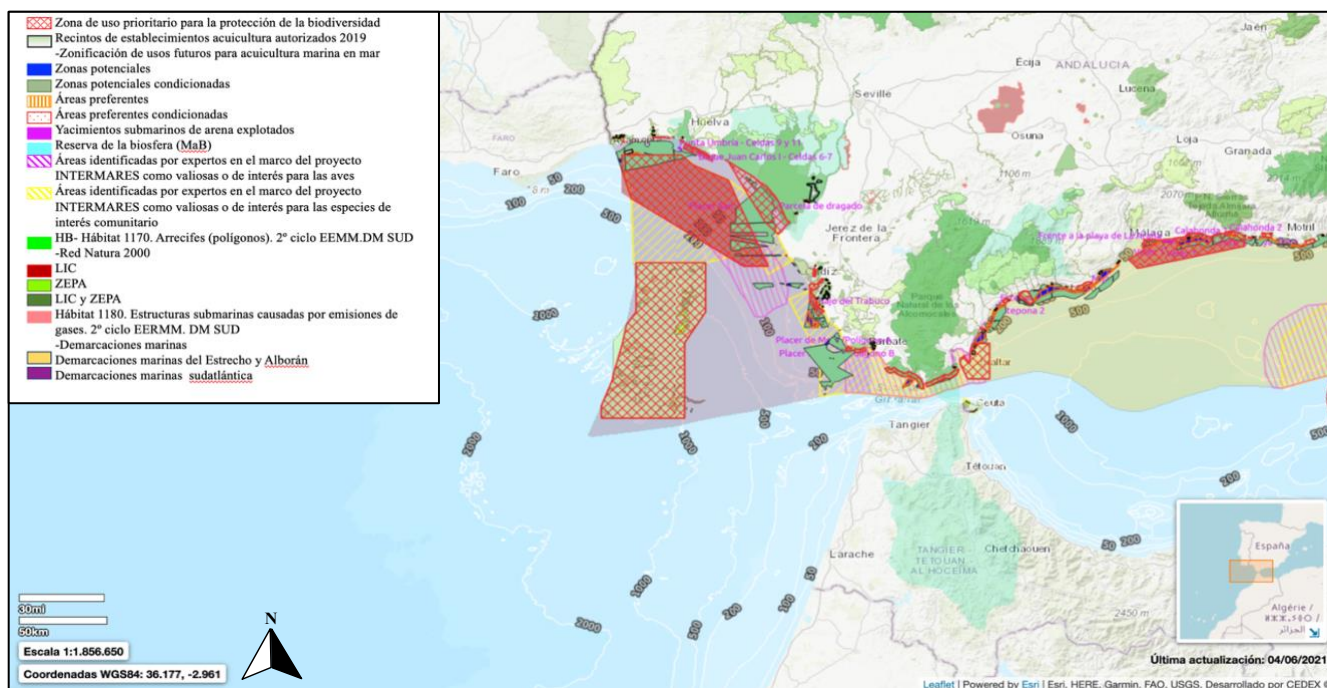


Figura 6. Mapa del Estrecho de Gibraltar. Condicionantes biológicos. Fuente: Elaboración propia a partir del Visor de Información Geográfica Marina

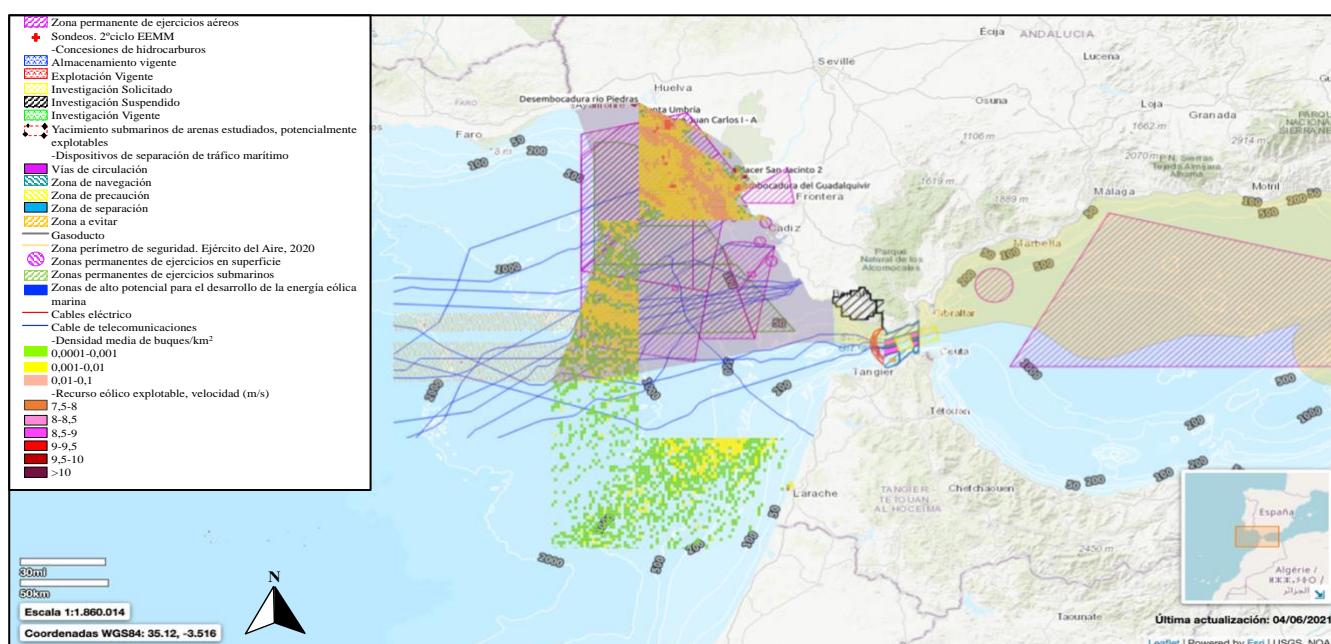


Figura 7. Mapa del Estrecho de Gibraltar. Condicionantes socio-económicos. Fuente: Elaboración propia a partir del Visor de Información Geográfica Marina

En la Figura 6 se puede destacar en los espacios más cercanos a costa zonas ZEPA (Zonas de Especial Protección para las Aves), zonas LIC (Lugar de Importancia Comunitaria) y áreas identificadas por expertos como valiosas para las especies de interés comunitario y las aves. Más alejado de la costa se presentan: un área de especial protección para la diversidad, arrecifes y una zona ZEPA.

En la figura 7 en la que se muestran los condicionantes socio-económicos se puede resaltar como el espacio está limitado por: zonas permanentes de ejercicios aéreos, en superficie y submarinos y tráfico marítimo ya que existe gran cantidad de buques/km². España cuenta con un alto recurso eólico marino, especialmente en esta zona del Mar de Trafalgar (Todt *et al*, 2011), es por ello por lo que para la construcción de OWF en esta zona se necesita un estudio del impacto ambiental donde se tengan en cuenta todos estos aspectos.

A partir de los factores identificados que se deben tener en cuenta a la hora de poner en marcha un proyecto de tales características se realiza una DAFO.

<p><u>Debilidades</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Zona de elevada profundidad -Destrucción de comunidades de flora y fauna -Sismos intermedios y profundos -Coincidencia con la ruta migratoria del atún y de ciertas especies de aves autóctonas -Modificación del régimen las olas y las corrientes -Zonas acuícolas -Praderas de fanerógamas marinas -Zona de gran importancia arqueológica 	<p><u>Amenazas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Limitación en los recursos para su instalación -Menor accesibilidad -Elevado coste de instalación -Colisión de aves con los aerogeneradores -Efectos sobre la navegación marítima y en la pesca comercial. -Impacto visual -Oposición de colectivos sociales y municipios -Mala gestión
<p><u>Fortalezas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -No existe limitación de espacio -Régimen de viento laminar y con velocidad constante -Menor impacto acústico -Gran apoyo a las energías renovables -Interés de diversas empresas por las características de la zona -Zona denominada como apta, pero con limitaciones 	<p><u>Oportunidades</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Alineamiento con los objetivos de desarrollo sostenible -Impulso de las economías marinas (Blue economy) -Estrategia de la Comisión Europea para convertirse en líder tecnológico en eólica marina a nivel mundial -Contribución a la generación de empleo directo e indirecto

Figura 6. Técnica de análisis DAFO sobre a construcción de un parque eólico marino en la costa de Cádiz. Fuente: Elaboración propia

Atendiendo a la tabla podemos observar que la primera debilidad corresponde a la profundidad ya que plataforma interna presenta entre 30 y 40 m, la plataforma media entre los 40 y 90 m y el borde la plataforma externa se encuentra a una profundidad de 120-140 m de profundidad (MITECO, 2012). Su profundidad es directamente proporcional al coste y a la dificultad de construcción (Energy & TIC consulting, 2021). Sin embargo, una instalación cercana al litoral generaría una amenaza de un mayor impacto visual y a la interrupción de un mayor número de usos y actividades. Esto podría ocasionar un descenso del turismo debido al impacto visual. En 2019, se superó la cifra de 5 millones de turistas en la costa gaditana (SAETA, 2020) aumentando notablemente los ingresos en esta provincia, por lo que la distancia a costa de la construcción de un OWF es un factor importante a tener en cuenta.

Como segunda debilidad a destacar, el impacto en las migraciones del atún rojo, ya que habría que investigar cómo reaccionaría dicha especie a la instalación de turbinas en sus rutas. Sin embargo, en el estudio de impacto ambiental de la presencia del parque eólico offshore “*Mar de Trafalgar*”, relata que no actuaría en ningún caso como “barrera” o “pantalla” para esta especie, debido a la elevada distancia entre máquinas dispuesta en proyecto (para este caso en concreto). Se concluyó que el paso de los atunes por el estrecho no se vería afectado de forma significativa por el polígono ya que era un área altamente permeable fácil de superar (Bejarano, 2006).

Por otro lado, este tipo de energía se presenta como oportunidad en la costa gaditana para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible e impulsar las economías marinas. Además, muestra fortalezas en la zona en la que se proyecta, ya que cuenta con un régimen de viento laminar y velocidad constante, y por ser una zona apta con limitaciones según el atlas eólico de España realizado por el IDAE.

Existen informes de que la instalación de OWF muestra diversos beneficios, como es el caso parque eólico marino Horns Rev 1 situado en el banco de arena Horns Reef en el Mar del Norte. Se realizaron encuestas de muestreo utilizando una red de enmalle de varios tamaños de malla. Los resultados fueron que ninguna de las especies de peces clave o grupos de peces funcionales mostró signos de efectos negativos a largo plazo debido al PEM. Además, la diversidad de especies fue significativamente mayor cerca de las turbinas (Stenberg *et al.*, 2015). Por otro lado, en la plataforma *offshore* frente a la costa de Suecia, se encontraron evidencias que sugieren que los PEM pueden funcionar como arrecifes artificiales y dispositivos de agregación de peces para peces demersales (Wilhelmsson *et al.*, 2006). Otro beneficio a destacar es que la presencia de un parque eólico puede aumentar el esfuerzo cortante del lecho, lo que conduce a la inestabilidad y al transporte de sedimentos del lecho lo que origina que los microplásticos adheridos a los sedimentos se eliminen más fácilmente (Wang *et al.*, 2018). Esto podría ser un gran avance en cuanto a la eliminación de microplásticos del fondo.

Es por todo lo mencionado anteriormente que una de las amenazas a la hora de que se desestimen los distintos proyectos presentados en la costa de Cádiz es el rechazo social. Además, durante la fase de utilización de un parque eólico marino se requieren procesos de mantenimiento bien establecidos para proporcionar la disponibilidad operativa requerida de todas las turbinas eólicas. Es por ello por lo que el personal desempeña un

papel importante, teniendo en cuenta que no es posible realizar el mantenimiento sin tener acceso a los técnicos o marineros que operan la embarcación requerida (Skobieć *et al.*, 2020). Lo que derivaría en una gran oportunidad laboral para la población gaditana.

5. CONCLUSIONES

El cambio climático y la degradación ambiental son una amenaza existencial no solo para Europa sino para el planeta. Para superar estos desafíos, se necesita una nueva estrategia de crecimiento, que sea eficiente en el uso de los recursos y competitiva, donde no haya emisiones netas de GEI. Es por ello la importancia de las energías renovables como las plataformas de energía eólica marina, ya que son una fuente de energía limpia y, por tanto, una alternativa real a los combustibles fósiles en la lucha contra el cambio climático.

Europa es el continente líder, tanto en las instalaciones eólicas marinas como en la innovación de tecnología de turbinas. Sin embargo, para que este sector pueda tener el máximo desarrollo posible, los países deben cumplir los compromisos anteriores a 2020 contraídos en los últimos 10 años y finalizar las negociaciones sobre la aplicación del Acuerdo de París, lo que dará lugar a un acuerdo equilibrado. Los gobiernos de todo el mundo consideran que la energía eólica marina es uno de los principales contribuyentes a la recuperación económica posterior al COVID-19 y afirman que la energía eólica marina se ha visto menos afectada por la pandemia en comparación con otros sectores energéticos.

En cuanto a la Eólica Marina en España, se puede concluir que apenas ha tenido desarrollo más allá de algunas instalaciones experimentales. La plataforma continental en las costas españolas es muy estrecha, además de alcanzar grandes profundidades a pocos km del litoral lo que implica una dificultad añadida en la instalación de aerogeneradores anclados a tierra con un importante incremento del costo. La eólica marina flotante, por tanto, es una solución real y factible como alternativa renovable de elevado potencial, que se adapta a las características de la plataforma continental española. Para este tipo de energía tan innovadora como son las turbinas flotantes, se requiere una mayor inversión en I+D en este sector, por lo tanto, se necesita ver una determinación política clara e inequívoca para aumentar la ambición climática y un compromiso más positivo de los observadores y de las iniciativas impulsadas por las partes interesadas.

En España, actualmente solo existe el Real Decreto 1485/2012 para la tramitación de las solicitudes de autorización de instalaciones de generación eléctrica en el Mar Territorial

por lo que va muy atrasada con el resto de los países europeos que tienen diversas leyes para la construcción de OWF en sus costas.

Atendiendo a los diferentes proyectos de OWF presentados en la costa gaditana se quedaron simplemente en propuestas debido, en gran parte, a que existe mucha desinformación. Es por ello la necesidad de proyectos de investigación, que muestren las distintas oportunidades que brinda la construcción de un OWF, además de los distintos aspectos y factores a los que afectaría y que se deben estudiar con exactitud y detalle.

Una posible solución sería invertir en educación para fomentar el ahorro energético, y un cambio en los hábitos de consumo. De esta forma se podrá concienciar a la población y a la hora de presentar un proyecto de energía eólica marina en la costa gaditana, el rechazo social de los distintos sectores no sea uno de los grandes obstáculos para su construcción.

La instalación de turbinas a pequeña escala puede ser también una posible medida, ya que los distintos impactos serían menores, además de que tendría un menor coste, problema que hace que muchos países pueden quedarse estancados, ya que supone un riesgo en el bloqueo de las negociaciones.

Por otro lado, se debe efectuar un cambio en las políticas públicas de los países, las cuales reconozcan que invertir en la reducción de GEI a través del sector de energía renovable de los OWF no se trata solo de costos sino de una inversión a largo plazo. Se trata de políticas para hacer que los mercados funcionen mejor y aumentar la eficiencia económica.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Barthelmie, R. J., Courtney, M. S., Højstrup, J., & Larsen, S. E. (1996). Meteorological aspects of offshore wind energy: Observations from the Vindeby wind farm. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 62(2-3), 191-211.
- Barry, M., & Chapman, R. (2009). Distributed small-scale wind in New Zealand: Advantages, barriers and policy support instruments. *Energy Policy*, 37(9), 3358-3369.
- Beck, S., & Mahony, M. (2017). The IPCC and the politics of anticipation. *Nature Climate Change*, 7(5), 311-313.
- Bejarano, A. (2006). Avances al estudio de impacto ambiental del proyecto de aprovechamiento integral de recursos naturales “Mar de Trafalgar”. *Informes De La Construcción*, 58(504), 5-18.

- Bilgili, M., Yasar, A., & Simsek, E. (2011). Offshore wind power development in Europe and its comparison with onshore counterpart. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 905-915.
- Boehlert, G. W., & Gill, A. B. (2010). Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development: a current synthesis. *Oceanography*, 23(2), 68-81.
- Bogdanov, D., Gulagi, A., Fasihi, M., & Breyer, C. (2021). Full energy sector transition towards 100% renewable energy supply: Integrating power, heat, transport and industry sectors including desalination. *Applied Energy*, 283, 116273.
- Castro, M., Costoya, X., Salvador, S., Carvalho, D., Gómez-Gesteira, M., Sanz-Larruga, F. J., & Gimeno, L. (2019). An overview of offshore wind energy resources in Europe under present and future climate. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1436(1), 70-97.
- Castro, M., Salvador, S., Gómez-Gesteira, M., Costoya, X., Carvalho, D., Sanz-Larruga, F. J., & Gimeno, L. (2019). Europe, China and the United States: Three different approaches to the development of offshore wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 55-70.
- Castro-Santos, L., Lamas-Galdo, M. I., & Filgueira-Vizoso, A. (2020). Managing the oceans: Site selection of a floating offshore wind farm based on GIS spatial analysis. *Marine Policy*, 113, 103803.
- Carreno-Madinabeitia, S., Ibarra-Berastegi, G., Sáenz, J., & Ulazia, A. (2021). Long-term changes in offshore wind power density and wind turbine capacity factor in the Iberian Peninsula (1900–2010). *Energy*, 226, 120364.
- Colmenar-Santos, A., Perera-Perez, J., Borge-Diez, D., & dePalacio-Rodríguez, C. (2016). Offshore wind energy: A review of the current status, challenges and future development in Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 1-18.
- Colombano, D. D., Litvin, S. Y., Ziegler, S. L., Alford, S. B., Baker, R., Barbeau, M. A., ... & Waltham, N. J. (2021). Climate change implications for tidal marshes and food web linkages to estuarine and coastal nekton. *Estuaries and Coasts*, 1-12.
- Copping, A., Sather, N., Hanna, L., Whiting, J., Zydlewski, G., Staines, G., ... & Masden, E. (2016). State of the science report: Environmental effects of marine renewable energy development around the world.
- Díaz, H., & Soares, C. G. (2020). Review of the current status, technology and future trends of offshore wind farms. *Ocean Engineering*, 209, 107381.

- Enevoldsen, P., & Jacobson, M. Z. (2021). Data investigation of installed and output power densities of onshore and offshore wind turbines worldwide. *Energy for Sustainable Development*, 60, 40-51.
- Esteban, M. D., Diez, J. J., López, J. S., & Negro, V. (2011). Why offshore wind energy?. *Renewable Energy*, 36(2), 444-450.
- Fajardo del Castillo, T. (2018). El acuerdo de París sobre el cambio climático: sus aportaciones al desarrollo progresivo del Derecho internacional y las consecuencias de la retirada de los Estados Unidos. *Revista española de derecho internacional*, 70(1), 23-52.
- Farr, H., Ruttenberg, B., Walter, R. K., Wang, Y. H., & White, C. (2021). Potential environmental effects of deepwater floating offshore wind energy facilities. *Ocean & Coastal Management*, 207, 105611.
- Fernández, J. L. U. (2013). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Anales de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, (50), 71-98.
- Fula, J. G., & Vilorio, A. (2015). Estudio Sobre el Abastecimiento Constante de Energía Eólica. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 3(2).
- García, M. I. B. (2019). Estudio del potencial eólico en mar abierto y optimización de la producción energética en la implantación de grandes parques eólicos marinos (Doctoral dissertation, Universidad de Huelva).
- González, M. I. & Estévez, B. (2005). Participación, comunicación y negociación en conflictos ambientales: Energía eólica marina en el mar de Trafalgar.
- Graabak, I., & Korpås, M. (2016). Variability characteristics of European wind and solar power resources—A review. *Energies*, 9(6), 449.
- Hausfather, Z., & Peters, G. P. (2020). RCP8. 5 is a problematic scenario for near-term emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(45), 27791-27792.
- Henderson, A. R., Morgan, C., Smith, B., Sørensen, H. C., Barthelmie, R. J., & Boesmans, B. (2003). Offshore wind energy in Europe—a review of the state-of-the-art. *Wind Energy: An International Journal for Progress and Applications in Wind Power Conversion Technology*, 6(1), 35-52.
- Hernando Casal, J.A, Cano Compairé, J., Pastoriza Martín, F., Gómez Cama, M.C., Díaz Gil, C., & Casimiro- Soriguer Escofet, M. (2010). Segundo informe sobres los posibles impactos del parque eólico sobre las poblaciones de peces para el proyecto “Las cruces del mar” basados en los conocimientos actuales. 34-36

- Higgins, P., & Foley, A. M. (2013). Review of offshore wind power development in the United Kingdom. In 2013 12th international conference on environment and electrical engineering (pp. 589-593). IEEE.
- Higgins, P., & Foley, A. (2014). The evolution of offshore wind power in the United Kingdom. *Renewable and sustainable energy reviews*, 37, 599-612.
- Jansen, M., Staffell, I., Kitzing, L., Quoilin, S., Wiggelinkhuizen, E., Bulder, B., ... & Müsgens, F. (2020). Offshore wind competitiveness in mature markets without subsidy. *Nature Energy*, 5(8), 614-622.
- Jung, Y. I. (1998). UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) and automobile technology countermeasure direction: Development and distribution of super low fuel cost automobile. *The Energy Management*, 261.
- Kazmi, SHH (2021). Design and operation based on dynamic ratings of offshore wind farm export systems.
- Kühn, M., Cheng, P. W., Bergström, H., Dahlberg, J. Å., Duffy, J., Jacquemin, J., ... & Pettersson, J. (2005). Utgrunden offshore wind farm: results of 5 years of operation and research. *Copenhagen Offshore Wind*, 1-10.
- Kyoto, P. (1997). Protocolo de Kyoto. Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático (CMNUCC).
- Lucas Garín, A. (2017). Novedades del sistema de protección internacional de cambio climático: El Acuerdo de París. *Estudios internacionales (Santiago)*, 49(186), 137-167.
- Lucas Garín, A. (2019). Principios del derecho ambiental en el Acuerdo de París sobre Cambio Climático (Principles of Environmental Law in the Paris Agreement on Climate Change). *Revista Derecho del Estado*, (44).
- Martínez López, H. (2020). Diseño y análisis de alternativas de un parque eólico marino de 50 MW en las Islas Canarias (Doctoral dissertation).
- Perveen, R., Kishor, N., & Mohanty, S. R. (2014). Off-shore wind farm development: Present status and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 780-792.
- Postigo, J. C. (2020). Climate change, social movements and public policy: a necessary linkage
- Ren, Z., Verma, A. S., Li, Y., Teuwen, J. J., & Jiang, Z. (2021). Offshore wind turbine operations and maintenance: A state-of-the-art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 110886.

- Rodríguez-Rodríguez, D., Malak, D. A., Soukissian, T., & Sánchez-Espinosa, A. (2016). Achieving Blue Growth through maritime spatial planning: Offshore wind energy optimization and biodiversity conservation in Spain. *Marine Policy*, 73, 8-14.
- Russell, D. J., Brasseur, S. M., Thompson, D., Hastie, G. D., Janik, V. M., Aarts, G., ... & McConnell, B. (2014). Marine mammals trace anthropogenic structures at sea. *Current Biology*, 24(14), R638-R639.
- Russell, D. J., Hastie, G. D., Thompson, D., Janik, V. M., Hammond, P. S., Scott-Hayward, L. A., ... & McConnell, B. J. (2016). Avoidance of wind farms by harbour seals is limited to pile driving activities. *Journal of Applied Ecology*, 53(6), 1642-1652.
- Salvador, S., Gimeno, L., & Larruga, F. J. S. (2018). The influence of regulatory framework on environmental impact assessment in the development of offshore wind farms in Spain: Issues, challenges and solutions. *Ocean & Coastal Management*, 161, 165-176.
- Salvia, J. M. (2005). El protocolo de Kyoto. *Revista de Treball, Economia i Societat*, 35, 19-39.
- Scheidat¹⁴, M., Tougaard, J., Brasseur, S., Carstensen, J., van Polanen Petel, T., Teilmann, J., & Reijnders¹³, P. Harbour porpoises (Ph and wind farms: a case study in the Dutch North Sea.
- Skobieć, B., Niemi, A. T. O., Kulev, N., & Sill Torres, F. (2020). Influence of the Personnel Availability on Offshore Wind Farm Maintenance.
- Snyder, B., & Kaiser, M. J. (2009). Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy. *Renewable Energy*, 34(6), 1567-1578.
- Soares-Ramos, E. P., de Oliveira-Assis, L., Sarrias-Mena, R., & Fernández-Ramírez, L. M. (2020). Current status and future trends of offshore wind power in Europe. *Energy*, 202, 117787.
- Stenberg, C., Støttrup, J. G., van Deurs, M., Berg, C. W., Dinesen, G. E., Mosegaard, H., ... & Leonhard, S. B. (2015). Long-term effects of an offshore wind farm in the North Sea on fish communities. *Marine Ecology Progress Series*, 528, 257-265.
- Todt, O., González, M. I., & Estévez, B. (2011). Conflict in the Sea of Trafalgar: offshore wind energy and its context. *Wind Energy*, 14(5), 699-706.
- Tong, K. C. (1998). Technical and economic aspects of a floating offshore wind farm. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 74, 399-410.

- Tsai, L., Kelly, J. C., Simon, B. S., Chalat, R. M., & Keoleian, G. A. (2016). Life Cycle Assessment of Offshore Wind Farm Siting: Effects of Locational Factors, Lake Depth, and Distance from Shore. *Journal of Industrial Ecology*, 20(6), 1370-1383.
- Vázquez, A., Astariz, S., & Iglesias, G. (2015). A strategic policy framework for promoting the marine energy sector in Spain. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 7(6), 061702.
- Vieira, M., Henriques, E., Amaral, M., Arantes-Oliveira, N., & Reis, L. (2019). Path discussion for offshore wind in Portugal up to 2030. *Marine Policy*, 100, 122-131.
- Vieira, M., Snyder, B., Henriques, E., & Reis, L. (2019). European offshore wind capital cost trends up to 2020. *Energy policy*, 129, 1364-1371.
- Wang, X., Zeng, X., Li, J., Yang, X., & Wang, H. (2018). A review on recent advancements of substructures for offshore wind turbines. *Energy conversion and management*, 158, 103-119.
- Wilhelmsson, D., Malm, T., & Öhman, M. C. (2006). The influence of offshore windpower on demersal fish. *ICES Journal of Marine Science*, 63(5), 775-784.

PÁGINAS WEB

- AEMET (Agencias estatal de metereología): <http://www.aemet.es/>
- Energy&TIC: <https://energytic.es/eolica-flotante-en-espana/>
- MAGTEL:<https://www.magtel.es/wp-content/uploads/2016/02/Presenta-Energia-Solar.pdf>
- MITYC (Ministerio de Industria, Comercio y Turismo):
http://www.aeeolica.org/uploads/documents/562-estudio-estrategico-ambiental-del-litoral-espanol-para-la-instalacion-de-parques-eolicos-marinos_mityc.pdf
- Noticias ONU: <https://news.un.org/es/tags/acuerdo-de-paris/date/2021>
- Periódico de la energía: <https://elperiodicodelaenergia.com/author/rroca/>
- SAETA (Empresa Pública Turismo y Deporte de Andalucía)
<https://webcache.googleusercontent.com/>
- WindEurope, T. (2018). Offshore wind in Europe: key trends and statistics 2017.
- WindEurope, T. (2020). Offshore wind in Europe: key trends and statistics 2019.
- WindEurope, T. (2021). Offshore wind in Europe: key trends and statistics 2020.
- WindEurope, T. (2021). Offshore wind in Europe: key trends and statistics 2021.
<https://windeurope.org/>

ANEXOS

ANEXO I: Proyecto Mar de Trafalgar

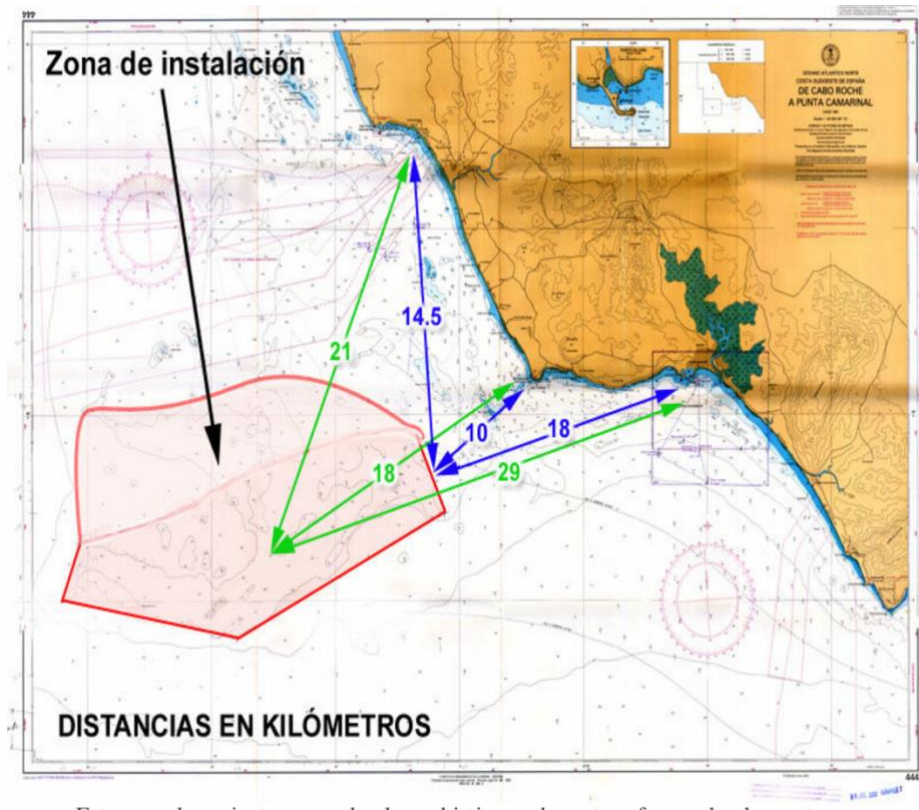


Figura 7. Límites del polígono de emplazamiento.

Fuente:AIE, 2005

ANEXO II: Proyecto Cruces del Mar

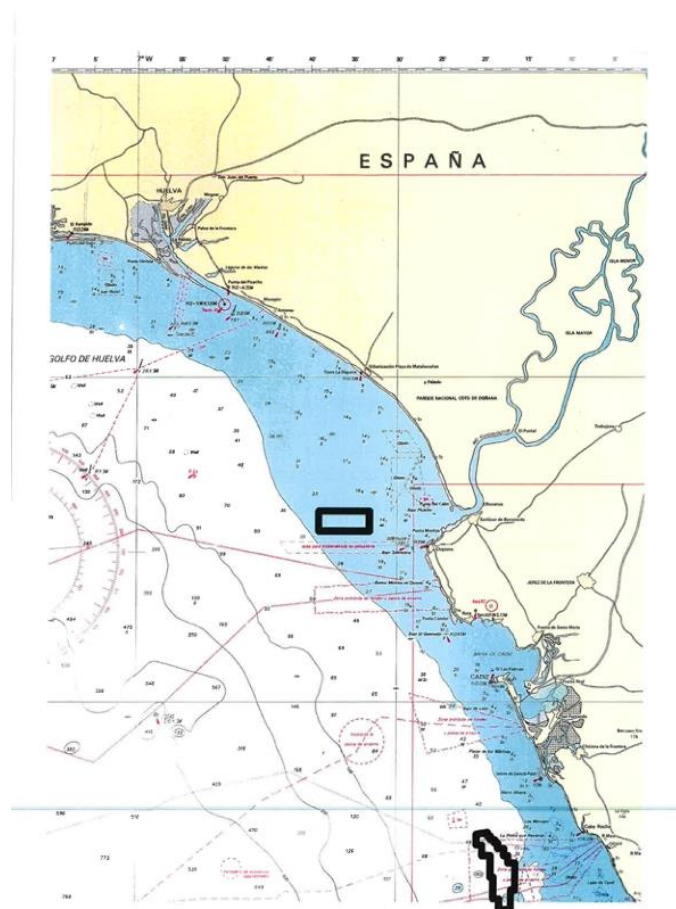


Figura 8. Límites del polígono de emplazamiento

Fuente: Hernando et al., 2009